

2. Кутателадзе С. С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: справочное пособие. М. : Энергоатомиздат, 1990. 367 с.
3. Исаченко В. П. [и др]. Теплопередача: учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Энергия, 1975.
4. 2005 ASHRAE Handbook Fundamentals, CHAPTER 3: HEAT TRANSFER.

УДК 624.9

Фирсова Д. А., Шелюг С. Н.  
Уральский федеральный университет  
darina-firsova@mail.ru, s.n.shelyug@urfu.ru

## УЧЕТ ЭФФЕКТА ВЫТЕСНЕНИЯ ПРИ РАСЧЕТЕ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ

**Аннотация.** В работе произведена оценка величины добавочных потерь электроэнергии, возникающих из-за эффекта вытеснения, который, в свою очередь, появляется из-за наличия высших гармонических составляющих тока в сетях. Рассмотрена зависимость величины добавочных потерь от сечения проводников и гармонического состава кривых тока. Рассчитана величина данных потерь и обоснована необходимость их учета с целью разработки мероприятий по повышению эффективности передачи и распределения электрической энергии в сети 0,4 кВ, а также по разработке механизмов ответственности потребителей за вносимые в электрическую сеть искажения.

В последние годы, наблюдается значительный рост нелинейных нагрузок в электрических сетях. К ним можно отнести осветительные и офисные устройства, бытовое и промышленное оборудование и т. д. В рамках данной работы были проведены измерения токов на одном из промышленных предприятий города Екатеринбурга. Кривые измеренных токов отличаются достаточно высокими коэффициентами искажения синусоидальности (рис. 1).

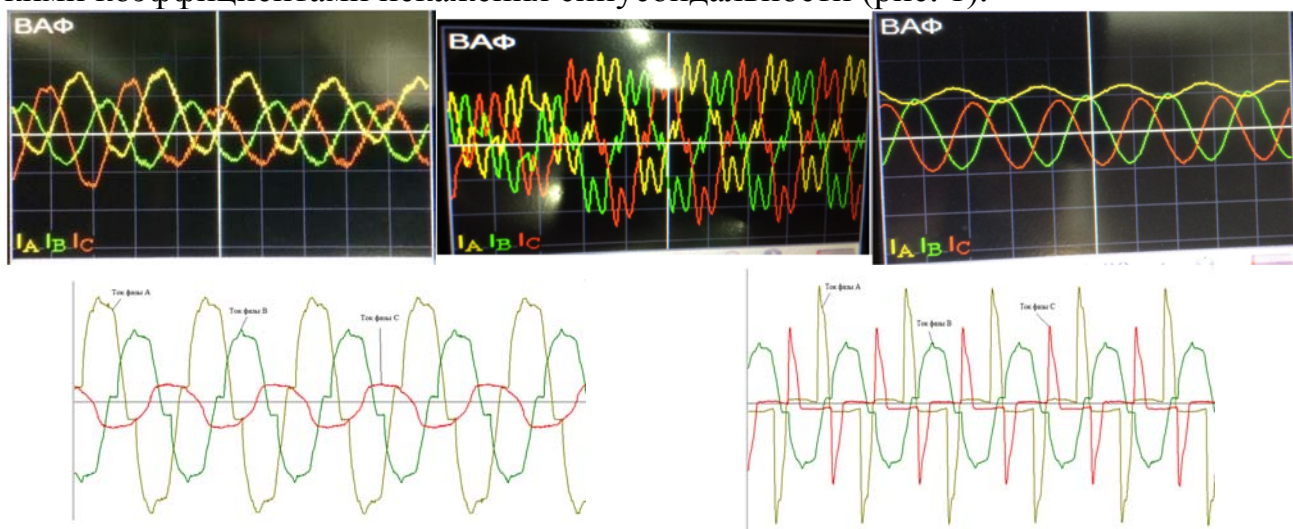


Рис. 1. Осциллограммы токов, измеренных на промышленном предприятии

Значительное содержание нелинейных нагрузок приводит к возникновению эффекта вытеснения, который, в свою очередь, приводит к возникновению дополнительных потерь электроэнергии. Эффект вытеснения заключается в неоднородном распределении плотности переменного тока по сечению проводника. Эта неравномерность тем больше, чем больше частота переменного тока и чем толще проводник. При больших частотах практически весь ток сосредоточен в тонком поверхностном слое проводника [1].

С математической точки зрения, эффект вытеснения может быть описан следующими формулами [2]:

$$R_n = k_{R_n} \cdot R_{(1)} \quad (1)$$

$$k_{R_n} = \begin{cases} 1 + \frac{x^4}{3} & \text{при } x \leq 1 \\ x + 0.25 + \frac{0.47}{x} & \text{при } x > 1 \end{cases} \quad (2)$$

$$x = 0.4 \cdot \sqrt{\frac{n}{R_1}} \quad (3)$$

где  $n$  – номер высшей гармоники (ВГ),  $R_{(1)}$  – сопротивление для первой гармоники,  $K_{(Rn)}$  – коэффициент увеличения активного сопротивления,  $R_n$  – сопротивление для  $n$ -ой гармоники.

Используя формулы (1) - (3), была рассчитана и построена зависимость коэффициента увеличения активного сопротивления от номера ВГ для различных марок провода (рис. 2).

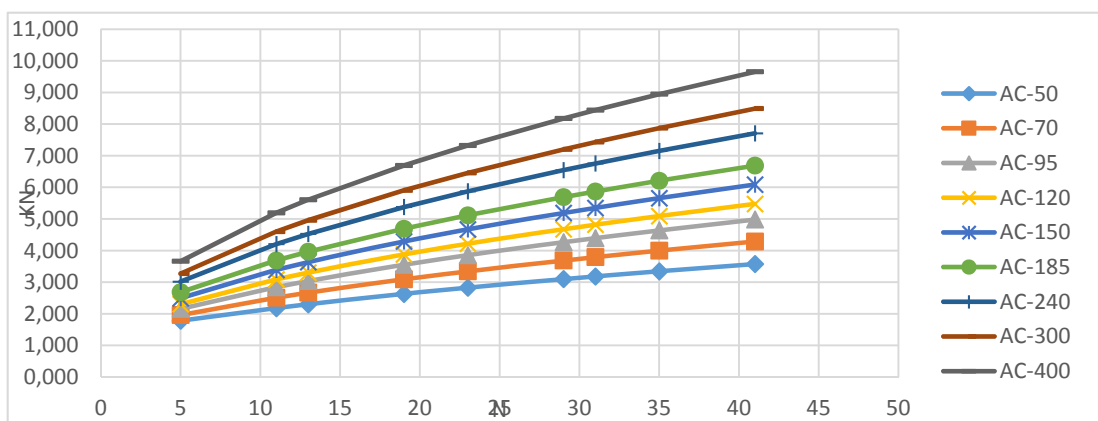


Рис. 2. Графическая зависимость коэффициента увеличения активного сопротивления сталеалюминиевых проводов марки АС от номера ВГ

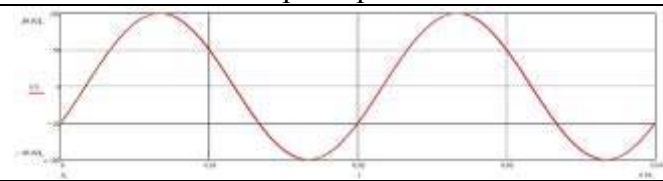
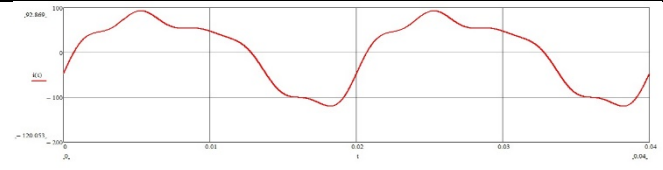
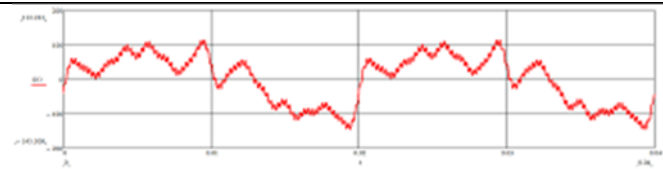
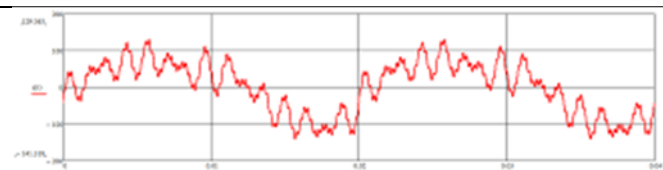
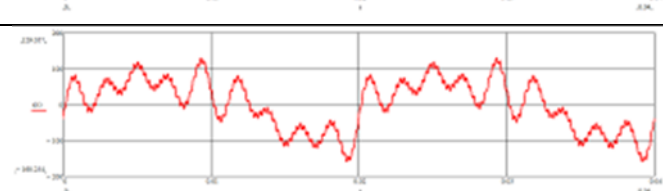
Также были проведены расчеты потерь энергии для четырехпроводной кабельной линии, схема которой показана на рис. 3. Исходные данные и расчетные формулы представлены в табл. 1, а результаты – в табл. 2.



Рис. 3. Схема для расчета потерь энергии

Таблица 2

## Расчет потерь электроэнергии с учетом несинусоидальности токов

Форма кривой	$K_i, \%$	$\Delta W, \%$
	0	3,901
	33,166	4,110
	56,529	5,254
	57,663	5,971
	73,485	6,145

Из табл. 2 видно, что добавочные потери значительно возрастают с ростом содержания высших гармоник, а, значит, необходим учет добавочных потерь, что позволит точнее разрабатывать мероприятия по повышению эффективности передачи и распределения электроэнергии в сети 0,4 кВ. Также необходимо отметить, что результаты работы позволят обосновать необходимость повышения ответственности потребителей за вносимые в сеть искажения.

## Список использованных источников

1. Шимони К. Физическая электроника / Пер. с нем. 1-е изд. М. : Энергия, 1977. 608 с.
2. Жежеленко И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. 4-е изд., пер. и доп. М. : Энергоатомиздат, 2000. 331 с.